

机身部件数字化柔性装配技术*

Digital and Flexible Assembly Technology for Fuselage

北京航空航天大学机械工程及自动化学院 翟雨农 李东升 王亮
中航工业北京航空制造工程研究所 张书生 邹方
中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 郭洪杰 冯子明



翟雨农
北京航空航天大学博士研究生, 研究方向为飞机柔性装配技术。

飞机机身部件装配是根据尺寸协调原则,将框、桁梁、壁板、隔板及各类角片按结构设计进行组合、连接的过程。其装配过程主要包括骨架装配、部件总装、外形检查等。机身部件装配精度直接影响后续大部件对接的装配质量,是保证飞机产品装配精度的重要环节。

当前国内航空工业在机身部件装配中,仍主要采用传统的装配模

式。工艺设计仍沿袭“设计—制造—评价”和“实物验证”这一传统模式^[1],因而难以避免在实际装配过程中出现大量工艺问题。装配工装仍采用“专架专用”的刚性工装,其数字化、自动化程度低,缺乏对机身产品变化的快速响应能力,导致飞机制造成本高,生产准备周期长,企业生产效率低^[2]。部件装配过程的测量和检验仍采用常规光学仪器和模拟量形式的标准样件^[3],其测量准确度和检验精度差、效率低。随着国内飞机制造业的快速发展,传统机身部件装配模式的弊端愈加突出,已难以满足新一代飞机的研制生产要求,亟需发展应用数字化技术来提高机身部件的装配技术水平。

本文根据某飞机后机身部件的结构特点,立足于国内机身部件装配现状,设计确定了其数字化柔性装配工装的结构形式,研究了其数字化装配工艺过程,分析了数字化激光测量系统在其装配过程中的应用方法,并对以上内容进行了仿真验证。

本文根据某飞机后机身部件的结构特点,立足于国内机身部件装配现状,设计确定了其数字化柔性装配工装的结构形式,研究了其数字化装

配工艺过程,分析了数字化激光测量系统在其装配过程中的应用方法,并对以上内容进行了仿真验证。

后机身部件结构及装配特点分析

现代飞机的机身大多为半硬壳式结构,基本结构由加强框、桁梁、隔板、壁板等组件组成,各组件具有较强的结构刚性和工艺刚性。

图1为某型飞机后机身部件。该后机身包括发动机舱及左右两侧尾梁,由4个“眼镜式”钛合金加强框构成主承力构件,其中包括与机翼、尾翼相连的交点框;加强框之间的桁梁是后机身的主要纵向受力骨架,为后机身的纵向分离面提供支持;壁板则是构成后机身气动外形的主要结构件^[4]。

由后机身部件结构可知,其包含的组件及板件数量多,外形复杂,协

* 国防基础科研项目(A0520110016)、国际科技合作项目(2010DFB73280)资助。

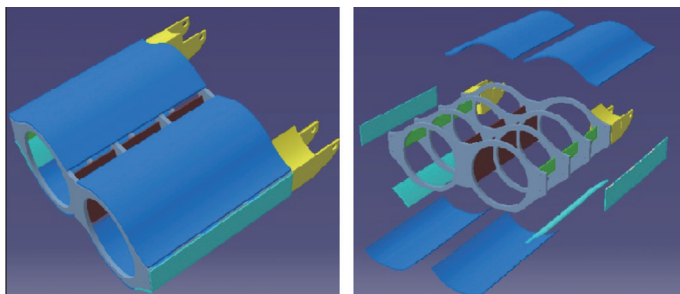


图1 某型飞机后机身部件

调环节多。后机身部件装配特点如下:

(1)以骨架外形为装配基准,先形成刚性骨架,再进行壁板总装,误差积累是“由内向外”,其中骨架装配的关键在于加强框的定位。

(2)定位方法主要采用DA孔定位、装配工装定位以及基准零件特征定位。其中主承力构件通过工装结合定位孔定位。

(3)连接方式以铆接为主,连接工作繁杂,局部有密封要求。

(4)为保证装配精度和准确度,各重要部位在上架定位后需进行精加工。

(5)装配过程中存在强迫装配,导致机身部件的装配应力较大。为避免机身部件出现错位甚至变形,要遵循“同一时间与机身保持连接的定位、夹紧元件尽量多”的原则。

面向后机身部件数字化装配的柔性工装

根据后机身部件结构特点,面向其数字化、柔性化装配要求,基于柔性工装技术,设计确定了后机身部件柔性装配工装的结构。

1 后机身部件柔性工装原理

后机身部件柔性工装结构如图2所示,其是在传统机身部件装配工装的结构基础上,融合柔性工装技术的思想而设计完成的。

柔性工装的基本原理是将原本固定的横梁、支臂及定位、夹紧元件可移动化,将每一个定位、夹紧元件都视作一个独立的模块,通过增加或

减少横梁及支臂的数量和更换不同形式的定位、夹紧模块,来实现工装的“一架多用”功能,即柔性。

2 后机身部件柔性工装结构

工装结构主要由框架、横梁及定位器构成,采用多梁式的组合式骨架形式,如图2所示。

骨架由底座、立柱、纵向(Y 向)导轨梁、横向(X 向)导轨梁、定位器支臂等模拟化元件所组成。在工装两侧立柱的顶端和底端沿纵向共设置4根导轨梁,并固连于立柱底座。上、下横梁架于两侧纵梁之间,在伺服电机驱动下沿纵梁导轨实现 Y 向移动。每根横梁上布置若干个定位器支臂,在伺服电机驱动下可分别沿横梁导轨及自身上下导轨实现 X 向和 Z 向移动。定位、夹紧模块(如图3所示)通过各种形式的定位孔连接在支臂靠近机身产品的一端。因此,随着电机驱动横梁及支臂沿导轨移动,定位、夹紧模块可以实现空间三维的移动。

通过改变横梁和支臂的数量、支臂上定位及夹紧模块的形式,并由伺服电机驱动到达不同的装配位置,该工装可实现快速重构,满足不同机身产品的装配要求,即具备“一架多用”的功能,从而达到降低制造成本、快速响应的目的。

机身部件柔性工装立足于传统部件装配工装结构,可继承应

用传统装配方法,便于工人操作应用。同时,工装通过数字伺服控制调形,实现了定位数据的数字量传递,进而实现了工装的数字化定位。

后机身部件数字化装配工艺研究

根据后机身的装配结构,基于设计的数字化柔性工装,建立了后机身部件的数字化装配工艺流程,如图4所示。

(1)工装定位器首先根据其理论数模和产品数模预装配得到的理论数据调整,运动到位后,再利用数字化测量设备对其位置精度进行检查,如果误差不在要求范围之内,工装定位器继续调整,直到满足误差要求为止。

(2)工装定位器到达正确位置后,锁死其位置,然后机身主承力构件-加强框上架,测量其上的关键定位点数据,将测量数据与由产品数模得到的理论数据进行比较,如果满足误差要求则以其为基准,装配其他

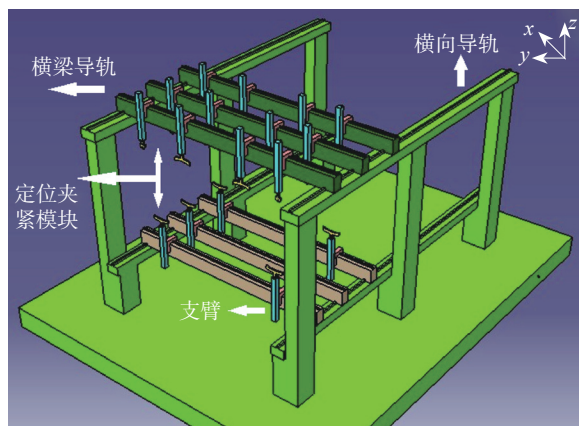


图2 机身部件装配柔性工装

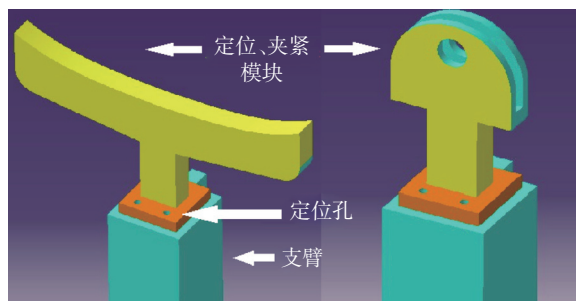


图3 模块化单元

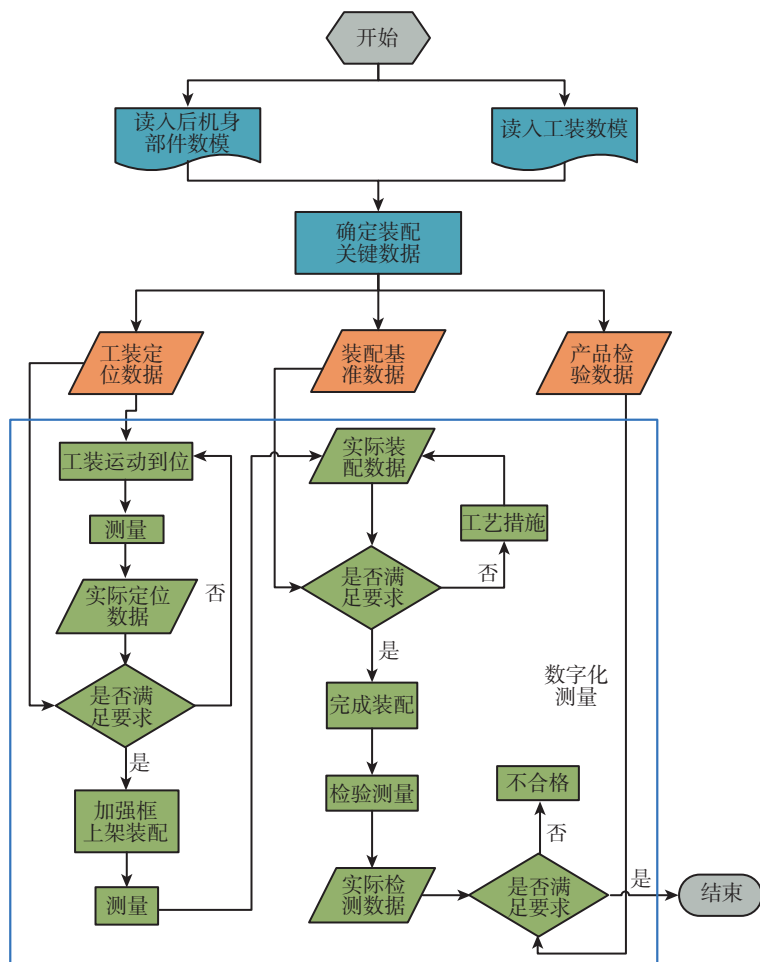


图4 机身部件装配工艺流程

辅助零件；如果不满足误差，则采用相应工艺措施，直到满足误差要求为止。

(3) 产品装配完成后，对其进行测量检验，测量数据根据数模得到的理论数据比较，如果满足要求，则产品合格；如果不满足要求，则返回设计和工艺进行讨论分析。

从上述后机身装配工艺流程可看出，从工装定位到中间的装配环节，直到最终的产品检验，整个装配工艺流程中实现了全数字量传递，保证了最终产品的装配准确度。

后机身部装数字化测量系统应用研究

由设计确定的后机身数字化装配工艺流程可知，在整个装配过程中，数字化测量是必不可少的一环

节。其是整个装配过程实际数据的来源，而且这些以数字量形式表征和传递的数据，更加直观和便于应用，是实现工装数字化定位、机身部件数字化装配的关键。

根据后机身部件的结构，结合现有实际条件，在后机身部件装配过程中，主要采用激光跟踪测量系统来实现。激光测量系统的结构如图5所示

采用测量计算软件实时控制激光测量设备，基于计算机和激光测量设备搭建装配现场测量网络，主要包括现场测量系统硬件和数据采集模块

两部分。

计算机和激光跟踪仪的控制箱采用标准的以太网 TCP/IP 接口通信方式，通过 RJ45 网线连接，能够很容易地实现数据通信。激光跟踪仪利用激光自动跟踪目标反射器，对预先安装在工装和机身产品上的光学靶标实施测量。计算机上安装有测量计算软件，能够实时控制激光跟踪仪进行测量，同时采集、处理测量数据，进而实现对工装定位器和机身装配体的位置测量以及对机身产品的外形检验。同时，通过激光跟踪测量设备的可编程二次开发接口，可对测量过程进行控制。

后机身装配过程中，主要通过工装定位器和基准件进行定位，其中一些重要构件的关键特征必须利用激光测量系统测量定位，如加强框沿机身方向的占位面、发动机交点的同轴度、尾梁型面等。这些构件经初步定位后，由激光跟踪仪对其关键特征处光学靶标进行测量，通过计算机对实测数据和理论数据进行比较、分析，进而调整构件位姿，直至满足要求。

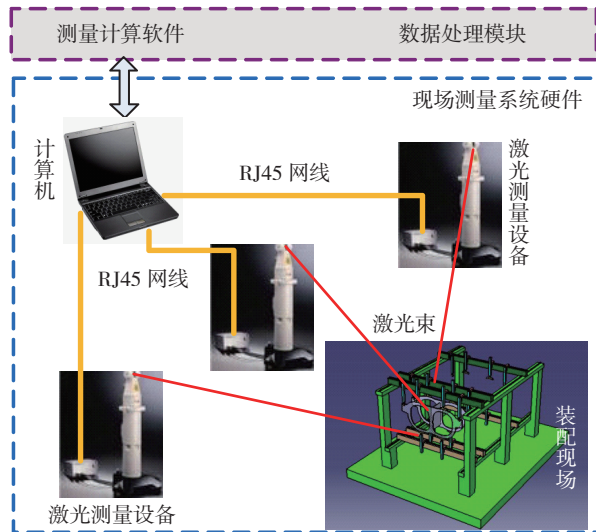


图5 激光测量系统结构图

后机身部件数字化装配工艺仿真验证

根据设计的后机身数字化装配

工艺流程,利用机身产品三维数模和工装三维数模,以及自行设计数字化激光跟踪系统数模,基于法国达索公司的 Delmia 仿真软件平台,对整个后机身装配过程进行了仿真分析。

整个仿真分析分 3 个层次,首先进行了基本的装配工艺过程分析,以检测零件和工装的干涉关系以及装配空间,从而进一步优化装配工艺流程;其次进行了装配过程的测量仿真分析,以检验装配过程中激光跟踪仪的光路可达性,便于激光跟踪仪的实际应用;最后,在前两个仿真层次的基础上,进行了装配过程中的人机工效学分析,以提高实际装配过程中的工作效率。

1 后机身部件装配工艺过程仿真

在 Delmia 软件的 DPM 装配工艺仿真模块下,导入后机身产品数模和柔性工装的数模以及其他的相关装配资源,搭建后机身部件的生产装配环境。

基于“可拆即可装”的装配思想,按照建立的装配工艺流程,通过编辑、规划机身装配件和工装产品的装配运动路径,完成对后机身装配全过程的虚拟仿真,如图 6 所示。

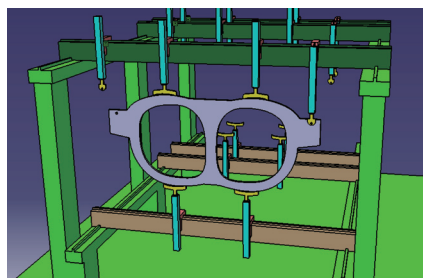


图6 装配工艺过程仿真

在仿真过程中开启“碰撞检测”功能。通过验证每一个装配件能否在不与周围构件及工装发生碰撞或干涉的同时,获得足够的空间来完成装配到位,检查后机身、工装产品设计中存在的协调、不合理的设计问题以及装配工艺方案中潜在的装配冲突与缺陷,并将其反馈给产品设计人员和装配工艺人员,以进一步优化

产品设计和装配工艺方案。

通过应用工艺仿真,可以最大程度地减少实际装配中机身部件、柔性工装的返修次数,大幅节省企业生产资源,缩短机身部装周期。同时,通过将装配仿真过程生成视频文件,可帮助工人快速、直观的了解机身部装的全过程,并能在装配现场指导工人装配作业,实现可视化装配。

2 后机身部件装配测量仿真

在上述装配工艺仿真的基础上,导入自行设计的数字化激光跟踪测量设备的数字化模型。通过布置测量环境和编辑激光束的测量路径,对后机身部装的整个测量过程进行仿真。

如果测量环境的布置(包括测量设备的布站和测量点的布局)和测量路径的规划不够合理,在实际测量中常常会发生光路被遮挡、激光束难以遍历足够多的待测点和待测曲面等状况,这些都会降低测量工作的准确度和效率,导致其无法满足测量要求。

通过进行装配测量仿真,能够对测量环境和测量路径进行合理的规划。这样既能保证实际测量光路畅通,又能使测量设备在转站次数最少的同时,尽可能高效地遍历所有待测点和待测曲面,确保实际测量工作的准确性、合理性和高效性。

3 人机工程仿真

在完成上述两个层次的仿真分析后,进一步完成了装配过程中的人机工程仿真。

在 DPM 模块下,切换到 Delmia 软件的人机任务仿真模块,插入人体模型及相关工具资源。通过编辑人体的动作、姿态来模拟工人在装配现场的行走路线、上架方式及作业姿态,如图 7 所示。

结合人机工效评估结果对人体姿态、工艺方法、工装结构及生产线布局进行修改和优化^[5],确保工人在装配现场具备高度的可视性、可达性、可操作性、舒适性及安全性,进而

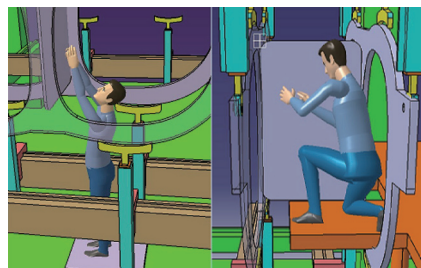


图7 人机工程仿真

提高装配工作效率,节约优化生产资源,缩短机身装配周期。

结 论

(1) 根据后机身部件结构特点,基于传统机身部件刚性工装,研究了后机身部件数字化装配柔性工装的原理,确定了其结构形式,为实现后机身数字化装配奠定了基础。

(2) 基于数字化柔性工装,建立了后机身部件数字化装配工艺流程,并研究了数字化激光测量系统在后机身装配过程中的应用方法,实现了整个后机身装配过程中的全数字量传递。

(3) 基于 Delmia 仿真平台,完成了后机身部件的装配工艺过程仿真,测量仿真以及人机工程仿真,从而进一步优化了装配工艺流程,保证了装配过程中数字化测量的准确性、合理性和高效性,并为提高实际装配过程中的工作效率提供了保障。

参 考 文 献

- [1] 郭洪杰. 装配仿真技术在飞机并行设计阶段的应用. 航空制造技术, 2009(24):65-71.
- [2] 王亮, 李东升, 刘凤贵, 等. 飞机壁板类组件数字化装配柔性工装技术及应用. 航空制造技术, 2010(10):58-61.
- [3] 王亮. 飞机数字化装配柔性工装技术及系统研究. 北京: 北京航空航天大学, 2010.
- [4] 飞机设计手册总编委会. 飞机设计手册(结构设计分册). 北京: 航空工业出版社, 2000:291.
- [5] 韩维, 许旭东, 曾宏川, 等. 虚拟装配技术在 ARJ21 机头部件装配中的应用. 航空制造技术, 2008(6):66-69. (责编 深蓝)